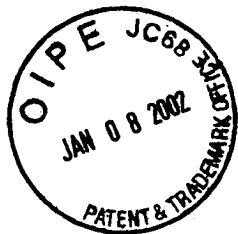


IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE



Applicants: Dr. Michael Abraham, et al. Examiner:
Serial No: 09/940,407 Group Art Unit:
Filed: August 27, 2001 Date: October 22, 2001
For: **"VACUUM MEASUREMENT DEVICE"**

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

SUBMISSION OF FOREIGN PRIORITY DOCUMENT

Sir:

This is a submission of the German Priority Document No. DE 100 42 123.7, filed August 28, 2000, for the above captioned application.

Respectfully submitted,

HUDAK & SHUNK CO., L.P.A.

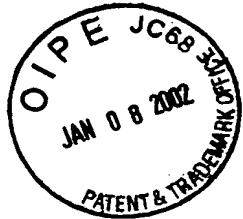
By: Daniel J. Hudak, Jr.
Registration No. 47,669

DJHjr/sab
7 West Bowery Street
Suite 808
Akron, OH 44308-1133

Attorney Docket No.: FMW-KK (N 411)

C: SUBMISSION OF CERT COPY OF FOREIGN PRIORITY DOC.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

100 42 123.7

Anmeldetag:

28. August 2000

Anmelder/Inhaber:

NanoPhotonics AG,
Mainz/DE

Bezeichnung:

Vorrichtung zur Durchführung von Messungen
im Vakuum

IPC:

G 01 B, G 01 N, G 12 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. September 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

N 394

28. August 2000
me/aew/af

F:\JBFUL\FUPWPT\ALL2598

NanoPhotonics AG

Galileo-Galilei-Str. 28
D-55129 Mainz

**Vorrichtung zur Durchführung von Messungen
im Vakuum**

Vorrichtung zur Durchführung von Messungen im Vakuum

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Durchführung von Messungen in einer Vakuumkammer, insbesondere der Messung von dünnen Schichten, mit einem mindestens ein Meßfenster aufweisenden Gehäuse zur Aufnahme einer Meßeinrichtung.

Ferner bezieht sich die Erfindung auf einen Vakuumadapter für Vorrichtungen zur Durchführung optischer Messungen in einer Vakuumkammer.

Messungen im Vakuum, insbesondere zur Qualitätskontrolle, sind beispielsweise in der Halbleiterfertigung von sehr großer Bedeutung. Die am häufigsten zu messenden Größen sind beispielsweise die Dicken der dünnen Funktionsschichten von wenigen Nanometern bis einigen Mikrometern sowie die Größe und Verteilung von Partikeln. Mit dem Übergang zu kleineren Strukturen und größeren Waferdurchmessern steigt der Bedarf an prozeßbegleitender Qualitätskontrolle. Ziel ist die Früherkennung von Fehlern und die Korrektur der Prozeßparameter, um die Ausbeute und die Produktivität der Fertigung zu erhöhen. Je höher die Ansprüche der Qualitätskontrolle werden, desto häufiger müssen die Wafer den Fertigungsprozeß verlassen, um einer Stichprobenmessung unterzogen zu werden.

Stand der Technik sind sogenannte Stand-Alone-Meßmaschinen, die an zentralen Punkten der Fabrik installiert werden. Wegen der hohen Kosten dieser Anlagen und des relativ hohen Platzbedarfs können nur wenige dieser

Anlagen installiert werden. Nachteilig sind auch die zusätzlichem Wege, die zusätzlichen Lade- und Entladeschritte der Wafer aus Transportboxen und zurück. Weiterhin vergeht relativ viel Zeit zwischen der Erkennung eines Defekts und der Reaktion, was bei steigender Prozeßgeschwindigkeit und der drastischen Erhöhung des Wertes der einzelnen Wafers zu enormen Verlusten führen kann.

Zur Verbesserung der Ausbeute und Verkürzung von Produktionszyklen gerade in der Dünnschichtfertigung soll die Messung der Schichteigenschaften von dünnen Schichten möglichst prozeßnah erfolgen. Eine bevorzugte Methode der Messung von Brechzahlen und Dicken von dünnen Schichten ist die Ellipsometrie. Sie nutzt die Veränderung des Polarisationszustandes von Licht nach der Reflexion an der Probenoberfläche aus. Dazu wird kollimiertes und vollständig polarisiertes Licht unter einem bestimmten Einfallswinkel auf die Probe gerichtet. Neben der Reflexion verändert sich der Polarisationszustand der Strahlung als Funktion der Probeneigenschaften.

Bei ellipsometrischen Messungen zur Bestimmung von Beschichtungsparametern in Fertigungsprozessen ist neben den Stand-Alone-Maschinen auch der Ansatz verfolgt worden, die Beschichtungsparameter *in-situ* zu messen. In der EP 0 527 150 B1 wird eine Anordnung für ellipsometrische *in-situ* Messungen in einer industriellen Beschichtungsanlage vorgeschlagen. Das Ellipsometer gemäß EP 0 527 150 B1 weist ein sogenanntes Paddel auf, auf dem sowohl die zu vermessenden Wafer angeordnet sind als auch die Analysator- und die Polarisatoreninheit sowie Strahlumlenkvorrichtungen in Form von Prismen. Sowohl für den einfallenden Strahl als auch für den ausfallenden Strahl ist jeweils ein Rohr als Strahlrohr vorgesehen. In einer bevorzugten Ausführungsform sind diese beiden Rohre auch an dem Paddel befestigt.

Diese Ellipsometeranordnung hat gravierende Nachteile. Um die Messung mit hinreichend gutem Einfallswinkel (üblicherweise zwischen 65 und 75°) durchführen zu können, ist es aus fertigungstechnischer Sicht von Nachteil, daß der Beschichtungsofen, der auf hohen Durchsatz optimiert wurde, nicht voll beschickt werden kann. Denn zwischen dem zu vermessenden Wafer und seinem Nachbarwafer muß ein Mindestabstand eingehalten werden. Dadurch, daß der Beschichtungsofen anders aufgefüllt wird, als es dem optimierten Zustand entspricht, ändern sich die Strömungsverhältnisse in dem Ofen und damit auch die Qualität der Beschichtung.

Aus meßtechnischer Sicht ist es von großem Nachteil, daß die üblicherweise in einer Vakuumkammer vorhandenen Pumpen die Rohre und das Paddel zu Eigenschwingungen anregen, wodurch die Messung verfälscht wird. Die bei der Fertigung auftretenden hohen Temperaturen und Gase führen zur Beeinträchtigung der Meßergebnisse, da mit Abscheidungen auf den Wänden der Prismen sowie mit thermisch bedingten Verspannungen zu rechnen ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Durchführung von Messungen im Vakuum bereitzustellen, die weder die Nachteile der Stand-Alone-Geräte noch der In-Situ-Meßgeräte aufweist, sondern ein prozeßnahes Messen unter bestmöglichen Meßbedingungen erlaubt.

Gelöst wird diese Aufgabe durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1. Außerdem wird die Aufgabe durch einen Vakuumadapter gemäß Anspruch 14 gelöst.

Das Gehäuse der erfindungsgemäßen Vorrichtung gliedert sich in zwei Teile, von denen der erste Teil in eine Vakuumkammer hineinragt oder zumindest mit einer Fläche an das Vakuum der Vakuumkammer grenzt und der zweite Gehäuseteil sich außerhalb der Vakuumkammer befindet.

Bei den Vakuumkammern handelt es sich nicht um die Prozeßvakuumkammern, sondern beispielsweise um Transfer- oder Schleusenkammern der Fertigungsanlage. In der Fertigungsanlage können auch spezielle Meßkammern integriert werden, an denen die erfindungsgemäße Vorrichtung angebracht sein kann. Die zu vermessenden Proben werden durch die ohnehin in der Fertigungsanlage vorhandenen Transportmittel, wie beispielsweise Roboter, zwecks Durchführung der Messung zur Vorrichtung gebracht und in unmittelbarer Nähe des ersten Gehäuseteils positioniert.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist mindestens eine am Gehäuse angreifende Verstelleinrichtung zur Positionsveränderung relativ zur Vakuumkammer bzw. relativ zur zu vermessenden Probe auf. Dadurch wird gewährleistet, daß die Vorrichtung vor jeder Messung einjustiert werden kann. Dies kann bei manchen Meßmethoden notwendig sein. Es ist insbesondere bei hohen Anforderungen an die Meßgenauigkeit erforderlich oder, wenn die Positionierung der Probe durch die in der Prozeßanlage vorhandenen Transportmittel zu ungenau ist.

Ein Einjustieren der Vorrichtung vor jeder Messung, ohne den Fertigungsprozeß zu unterbrechen, wird durch Mittel zur abdichtenden und beweglichen Anordnungen des Gehäuses in der Wand der Vakuumkammer ermöglicht. Außerdem wird durch diese Mittel ein mechanisches Abkoppeln der Vorrichtung von der Vakuumkammer erreicht. Weiterhin kann damit die Vorrichtung unabhängig von der Vakuumkammer aufgebaut und getestet werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine am zweiten Gehäuseteil angreifende Gegenzugeinrichtung auf, um eine Kraft wirken zu lassen, die der durch den Unterdruck des Vakuums der Vakuumkammer auf die Vorrichtung wirkenden Kraft entgegenwirkt. Dadurch wird ein kräftefreier und auch spannungsfreier Zustand der Vorrichtung erreicht, was zu einer besseren

Funktionsweise der einzelnen Komponenten sowie einer höheren Betriebssicherheit und Meßgenauigkeit führt. Insbesondere wird dadurch das Einjustieren der Vorrichtung erleichtert. Auch die mechanische Abkopplung der Vorrichtung von der Vakuumkammer wird dadurch erhöht. Ein besonderer Vorteil besteht darin, daß durch die Anordnung auf die Verwendung besonders starker Motoren für die Verstelleinrichtung verzichtet werden kann. Es genügen kleine Motoren und entsprechend schwach ausgelegte Spindeltriebe, die lediglich auf die Kompensation etwaiger Rückstellkräfte der Mittel zur abdichtenden und beweglichen Anordnung des Gehäuses in der Wand der Vakuumkammer ausgelegt zu sein brauchen.

Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, als Mittel zur abdichtenden und beweglichen Anordnung des Gehäuses in der Wand der Vakuumkammer unter anderem einen Faltenbalg einzusetzen. Da der Faltenbalg keine starre Ausdehnung aufweist, erlaubt er ein Verstellen der Position der Vorrichtung relativ zur Vakuumkammer bzw. zur zu vermessenden Probe, ohne daß Einbußen in der abdichtenden Wirkung hingenommen werden müßten. Außerdem dämpft er mögliche Schwingungen der Vakuumkammer gegenüber der Vorrichtung ab. Bei geringerem Vakuum und minimalen Verstellwegen sind auch elastische Dichtungen denkbar.

Um die Gegenkraft anzulegen, sind beispielsweise eine Federaufhängung oder eine magnetische Aufhängung denkbar. Bevorzugt ist auf der der Vakuumkammer entgegengesetzten Seite der Vorrichtung eine Unterdruckkammer ausgebildet, die entweder separat evakuiert wird oder über eine Vakuumverbindung mit der großen Vakuumkammer der Fertigungsanlage in Verbindung steht, so daß sich automatisch ein Druckausgleich einstellt. In diesem zweiten Fall hat die Unterdruckkammer ein variables Volumen. Vorteilhafterweise ist die Meßeinrichtung im zweiten Gehäuseteil untergebracht.

In der Meßeinrichtung wird das Eingangssignal zur Verfügung gestellt, das durch Wechselwirkung mit der Probe in ein Meßsignal umgewandelt werden wird. Bei dem Eingangssignal kann es sich um beliebige elektromagnetische Wellen handeln. Das Eingangssignal kann entweder in der Meßeinrichtung direkt erzeugt werden oder aber von außerhalb der Meßeinrichtung in die Meßeinrichtung eingeführt werden und dort beispielsweise monochromatisiert oder moduliert oder anders den Meßbedingungen entsprechend modifiziert werden.

Außerdem enthält die Meßeinrichtung mindestens einen Detektor, der der Erfassung des Meßsignals dient. Die Auswertung des Meßsignals kann noch in der Meßeinrichtung stattfinden. Das Detektionssignal kann aber auch zu Zwecken der Auswertung aus der Meßeinrichtung abgeführt werden oder innerhalb oder außerhalb der Meßeinrichtung abgespeichert werden.

Der erste Gehäuseteil dient dazu, die Grenze zwischen dem Vakuum in der Fertigungsanlage und der Atmosphäre in der Meßeinrichtung im zweiten Gehäuseteil, d.h. in der Regel Luft, zu bilden. Die Grenzfläche kann beispielsweise als vakuumtaugliches oder hochvakuumtaugliches Fenster ausgebildet sein, das für das Eingangssignal und das Meßsignal transparent ist.

Vorzugsweise ist die Meßeinrichtung der erfindungsgemäßen Vorrichtung derart ausgebildet, daß sie neben dem mindestens einen Detektor mindestens eine Lichtquelle oder Lichtzuführung wie beispielsweise Glasfaserkabel aufweist. Dadurch können mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung optische Messungen im Vakuum durchgeführt werden. Diese Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung eignet sich insbesondere für Messungen an der Probenoberfläche wie beispielsweise ellipsometrische Messungen zur Bestimmung der Dicke und des Brechungsexponenten von Beschichtungen oder auch zur Bestimmung der vorhandenen Partikel durch Messung des Streulichtes bzw. Messung des Verlustes an direkter Reflexion an der Probe oder in einem

Volumen. Diese Anwendungen eignen sich insbesondere - aber nicht nur - für die Qualitätskontrolle bei Fertigungsprozessen in der Halbleiterindustrie.

Für die Durchführung von optischen Messungen im Vakuum ist der erste Gehäuseteil als Vakuumadapter ausgebildet und weist ein Strahlrohr auf, durch das der eintretende Strahl als Eingangssignal, der von der Lichtquelle in der Meßeinrichtung erzeugt wurde, und der austretende Strahl des Meßsignals geleitet werden. Der eintretende Strahl muß nicht zwingend von einer Lichtquelle innerhalb der Meßeinrichtung erzeugt worden sein, sondern kann auch außerhalb der Meßeinrichtung erzeugt worden sein und beispielsweise über Lichtleiterkabel der Meßeinrichtung zugeführt worden sein und dort als Lichtstrahl austreten. Das Strahlrohr des Vakuumadapters ist mit einem Ende an dem die Meßeinrichtung beinhaltenden Gehäuseteil befestigt. Über den Vakuumadapter können z.B. ein Ellipsometer, ein Reflektometer und/oder ein FTIR-Spektrometer eingekoppelt werden.

Damit am Ort der Messung die gewünschte Meßkonfiguration bzw. Meßgeometrie gegeben ist, weist der Vakuumadapter vorteilhafterweise an dem der Vakuumkammer zugewandten Ende des Strahlrohres ein Prismen- und/oder ein Linsensystem auf. Strahleigenschaften wie Divergenz, Dispersion und Winkel relativ zur Probe können dadurch unmittelbar vor der Messung und unmittelbar nach der Messung an die spezifischen Gegebenheiten angepaßt werden. Bei geringerem Vakuum ist es möglich, das Prismen- bzw. das Linsensystem vakuumdicht mit dem Strahlrohr abzudichten, so daß diese optischen Elemente als Grenzfläche zwischen der Atmosphäre im Strahlrohr bzw. der Meßeinrichtung und dem Vakuum außerhalb der Vorrichtung fungieren.

Wenn sehr hohe Meßgenauigkeiten erreicht werden sollen, wird allerdings die Lösung bevorzugt, bei der sich die optischen Elemente wie Prismen bzw. Linsen vollständig im Vakuum befinden, da ansonsten innerhalb dieser

optischen Elementen Spannungen auftreten können. An dem der Meßeinrichtung zugewandten Ende des Strahlrohres ist vorteilhafterweise ein für Licht der jeweiligen Wellenlänge durchlässiges, vakuumtaugliches Fenster angeordnet. Dieses Vakuumfenster trennt die Atmosphäre in der Meßeinrichtung vom Vakuum des Strahlrohrs bzw. der Vakuumkammer. Innerhalb des Strahlrohres herrscht Vakuum.

Insbesondere bei ellipsometrischen Anwendungen der Vorrichtung ist es von Vorteil, den Polarisator nicht unbedingt in der Meßeinrichtung anzurichten, sondern einen Polarisator auf der Strahlrohrinnen- oder der Strahlrohraußenseite des Prismensystems des Vakuumadapters anzubringen. Wenn es auf einen sehr hohen Polarisationsgrad ankommt, wird der Polarisator vorzugsweise auf der Strahlrohraußenseite des Prismensystems angebracht. Bei Anwendungen im Hochvakuum allerdings kann es vorkommen, daß, falls es sich um Polarisatorfolie handelt oder der Polarisator durch Kleben an dem Prismensystem befestigt wurde, das Vakuum negativ beeinträchtigt wird. In diesem Falle wird der Polarisator vorzugsweise auf der Strahlrohrinnenseite des Prismensystems angebracht.

Je nach den geometrischen Gegebenheiten der Vakuumkammer kann es notwendig sein, das Strahlrohr des Vakuumadapters mit einem möglichst geringen Querschnitt oder gekrümmt auszuführen. Für diese Fälle sind im Strahlrohr des Vakuumadapters vorteilhafterweise Umlenkprismen für die Strahlführung vorgesehen.

Für die Qualität der Meßergebnisse ist die genaue Feststellung der Probenposition in Bezug auf den Meßstrahl von Vorteil. Zu diesem Zweck weist die in der erfundungsgemäßen Vorrichtung angeordnete Meßeinrichtung neben einer Meßeinheit, die beispielsweise ein Ellipsometer, ein Reflektometer oder FTIR-Spektrometer sein kann, auch eine Justiereinheit auf. Die Justiereinheit besteht mindestens aus einer Lichtquelle und mindestens einem

positionsempfindlichen Detektor. Vorzugsweise wird als Lichtquelle ein Justierlaser eingesetzt. Durch den Einsatz von beispielsweise Strahlteilern kann auch eine ggf. in der Meßeinheit vorhandene Lichtquelle gleichzeitig für die Justiereinheit genutzt werden. Die Strahlebene der Justiereinheit ist gegenüber der Meßgeometrie der Meßeinheit parallel versetzt, so daß der Justierzustand des Systems möglichst richtig wiedergegeben werden kann.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird als Justiereinheit eine Triangulationsanordnung verwendet. Damit kann automatisch sowohl der Probenabstand als auch die Verkippung gemessen werden. In diesem Fall besteht die Justiereinheit aus einem Justierlaser, einem Strahlteiler und zwei positionsempfindlichen Detektoren. Der Laserstrahl aus dem Justierlaser wird mittels des Strahlteilers in zwei parallel versetzte Strahlen aufgespalten. Der eine Strahl wird zur Feststellung des Probenabstandes genutzt. Bei Änderung des Probenabstandes verschiebt sich der Auftreffpunkt auf der Probenoberfläche und damit auch der Auftreffpunkt des reflektierten Strahls auf einem der positionsempfindlichen Detektoren. Die Abweichung von Sollwert kann elektronisch festgestellt werden und ggf. zur automatischen Korrektur über die Stellmotoren benutzt werden. Zur Feststellung der Probenverkippung wird der zweite Teilstrahl verwendet. Beim Verkippen der Probe wandert dieser Strahl auf dem zweiten positionsempfindlichen Detektor, was wiederum elektronisch festgestellt werden kann. Es kann eine mechanische Korrektur der Probenverkippung erfolgen oder auch der Verkippungswinkel quantitativ erfaßt werden und bei der Auswertung der Messung berücksichtigt werden.

Für Untersuchungen, bei dem nicht nur ein sondern mehrere Punkte auf der Probe vermessen werden müssen, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, rotierende Probentische zu verwenden. Zwischen zwei Messungen kann mittels des Rotationstisches die Probe um einen bestimmten Winkel weitergedreht werden. Vorzugsweise wird der Rotationstisch auf einem Lineartisch

angeordnet. Die Bewegungsrichtung des Lineartisches ist dabei in radialer Richtung des Rotationstisches. Über die Kombination von Translations- und Rotationsbewegungen kann dadurch eine noch größere Menge von Meßpunkten auf der Probenoberfläche angefahren werden. Besonders platzsparend ist dabei eine Variante, bei der nicht der Rotationstisch auf einem Lineartisch angeordnet ist, sondern in einem gewissen Abstand von dem Rotationstisch Umlenkprismen oder Spiegel derart angeordnet sind, daß sie in radialer Richtung des Rotationstisches linear bewegbar sind. Durch Kombination der Linearbewegungen der um den Prismen oder Spiegel und Rotationsbewegungen des Rotationstisches können ebenso viele Meßpunkte angefahren werden wie in der zuvor beschriebenen Ausführungsform.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist viele Vorteile auf. Dadurch, daß die erfindungsgemäße Vorrichtung es erlaubt, die Messung in den Herstellungsprozeß zu integrieren, in dem sie zwischen zwei Prozeßschritten durchgeführt wird und selbst zu Justierzwecken nicht in die Funktionsweise der Fertigungsanlage eingegriffen werden muß, wird einerseits erreicht, die Proben äußerst prozeßnah zu vermessen und andererseits die Messung derart durchzuführen, daß Fertigung und Messung sich nicht gegenseitig negativ beeinflussen. Es ist nunmehr möglich, bei ungestörter Fertigung beliebige Proben zu vermessen und dabei eine möglichst hohe Meßgenauigkeit zu erreichen. Es entfallen kostenintensive Zwischenwege zwischen einzelnen Prozeßschritten und der Messung und vor allem die langen Reaktionszeiten zwischen der Detektion von Fertigungsfehlern und der Reaktion auf diese.

Dadurch, daß über den Vakuumadapter die Meßkonfiguration beziehungsweise die Meßgeometrie von der Ausgestaltung der Meßeinrichtung abgekoppelt ist, kann die Meßeinrichtung in Bezug auf höhere Meßgenauigkeit bei kostengünstiger Ausgestaltung optimiert werden. Außerdem läßt sich die gesamte Vorrichtung einfach an die in bereits vorhandenen Fertigungsanlagen gegebenen Platzverhältnisse anpassen. Um bereits vorhandenen

Fertigungsanlagen aufzurüsten, genügt es, den Vakuumadapter durch eine Öffnung in der jeweiligen Vakuumkammer in das Vakuum einzubringen.

Da sich die Meßeinrichtung nicht unter Vakuum befindet, können Wartungs- und Umbauarbeiten an der Meßeinrichtung stattfinden, ohne daß die Prozeßstraße oder die jeweilige Vakuumkammer belüftet werden müßte. Auch der konstruktive Aufwand für die Meßeinrichtung verringert sich, da es nicht nötig ist, vakuumtaugliche Komponenten wie beispielsweise Kabeldurchführungen zu verwenden. Außerdem wird verhindert, daß beispielsweise durch elektrische Komponenten das Volumen in der Proben- bzw. Meßumgebung verschlechtert wird.

Angepaßt an den Fertigungsprozeß des jeweiligen Produktes können mehrere erfindungsgemäße Vorrichtungen an diversen Stellen des Fertigungsprozesses integriert werden. Da das Aufrüsten von Fertigungsanlagen mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit wenig Aufwand verbunden ist und die erfindungsgemäße Vorrichtung selbst durch den einfachen Aufbau kostengünstig ist, bietet sich die Möglichkeit, bei geringen Investitionskosten ein umfassendes Qualitätskontrollsystem innerhalb des Fertigungsprozesses einzurichten.

Die Erfindung soll anhand des Beispiels der ellipsometrischen Vermessung von Waferoberflächen näher erläutert werden. Dazu zeigen die

Figuren 1a,1b,1c mögliche Positionen in der Vorrichtung innerhalb einer Waferfertigungsanlage,

Figuren 2a,2b zwei mögliche Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Figuren 3a,3b,3c drei mögliche Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Vakuumadapters,

Figuren 4a,4b eine Vorrichtung mit Justiereinheit und

Figuren 5a,5b Vorrichtungen mit rotierendem Probentisch.

Figur 1a zeigt eine Waferfertigungsanlage 1. Sie ist modular aus Prozeßkammern 10, einer Schleusenkammer 11 und einer Transferkammer 13 aufgebaut. Derartige Waferfertigungsanlagen werden auch Clusteranlagen genannt.

Die Wafer 6 werden durch die Schleusenkammer 11 in das Vakuum der Clusteranlage 1 eingebracht. Mittels eines Roboters 14, der im wesentlichen aus einem Roboterarm 15 besteht, der sich um die Roboterachse 16 dreht, und in der Transferkammer 13 angeordnet ist, werden die Wafer 6 aus der Schleusenkammer 11 in die verschiedenen Prozeßkammern 10 transportiert.

In Figur 1a weist die Clusteranlage 1 außer den zwei Prozeßkammern 10 auch eine Meßkammer 12 auf. An dieser Meßkammer 12 ist die erfindungsgemäße Vorrichtung 2 angebracht. Dort wird der Wafer 6 vermessen, bevor er in einer Prozeßkammer 10 beschichtet wird. Nach dem Beschichtungsschritt wird die Messung wiederholt und durch die mittels der Vorrichtungskammer durchgeführten Messungen die Schichtdicke und der Brechungsindex der Schicht bestimmt. Anhand dieser Daten kann festgestellt werden, ob der Beschichtungsprozeß korrekt abgelaufen ist. Nach der Messung wird der Wafer 6 vom Roboter 14 in die nächste Prozeßkammer 10 transportiert und der Fertigungsprozeß fortgesetzt. Gegebenenfalls wird auch nach der im zweiten Beschichtungsschritt der Wafer wieder in der Meßkammer 12 vermessen.

In den Figuren 1b und 1c sind zwei weitere Clusteranlagen 1 dargestellt. Diese beiden Clusteranlagen 1 weisen drei Prozeßkammern 10 auf. Es ist also keine separate Meßkammer für die Vermessung der Wafer 6 vorgesehen. In der Figur 1b ist die erfindungsgemäße Vorrichtung an der Schleusenkammer 11 angebracht. Die Wafer 6 werden beim Eintritt in die Clusteranlage 1 vermessen und nach Durchlaufen der drei Prozeßschritte, die in den drei Prozeßkammern 10 ablaufen, erneut vermessen.

In Figur 1c ist die dritte Möglichkeit der Positionierung der Vorrichtung 2 dargestellt. Hier ist die Vorrichtung 2 in der Transferkammer 13 angebracht. Dort können die Wafer 6 nach Belieben vor bzw. nach jedem Prozeßschritt vermessen werden.

Figur 2a zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Die Herzstücke der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind der als Vakuumadapter ausgebildete erste Gehäuseteil 21 und die Meßeinrichtung 34 im zweiten Gehäuseteil 20.

Die Meßeinrichtung 34 umfaßt eine Lichtquelle 30, eine Polarisatoreinheit 31 und eine Analysatoreinheit 32. Bei der Lichtquelle 30 handelt es sich um eine Photodiode, die einen Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 635 nm erzeugt. Sie bilden zusammen ein Ellipsometer, das auf der Ellipsometergrundplatte 33 angeordnet ist. Um das Ellipsometer ist der zweite Gehäuseteil 20 angeordnet.

An dem Gehäuseteil 20, genauer gesagt an die Ellipsometergrundplatte 33 ist der Vakuumadapter 21 angeflanscht. Der Vakuumadapter 21 weist ein Strahlrohr 40 auf, in dem der von der Lichtquelle 30 erzeugte Lichtstrahl sowie der Meßstrahl 5 verlaufen. Den Übergang zwischen Meßeinrichtung 34 bzw. zweitem Gehäuseteil 20 und Vakuumadapter 21 bildet ein Vakuumfenster 42. Es ist für die Lichtstrahlen durchlässig, dichtet aber das Vakuum im ersten Gehäuseteil 21 wirksam ab. Beide Gehäuseteile 20,21 beinhalten jeweils

voneinander abgetrennte Kammern, wobei die Trennung durch das Vakuumfenster 42 gewährleistet wird.

Am anderen Ende des Strahlrohres 40 ist ein als Prismensystem 41 ausgebildetes Meßfenster 45 angeordnet. Dies ist nicht vakuumdicht mit dem Strahlrohr 40 verbunden, so daß innerhalb des Strahlrohres 40 das gleiche Vakuum wie in der Vakuumkammer herrscht. Das Prismensystem 41 ist derart ausgestaltet, daß sich ein Einfallswinkel zwischen 65° und 75° ergibt, der für ellipsometrische Messungen am günstigsten ist.

Der die Meßeinrichtung 34 enthaltende Gehäuseteil 20 und der Vakuumadapter 21 sind über einen Faltenbalg 28 und einen Flansch 29 an der Deckplatte 24 der Vakuumkammer befestigt. Dabei umgibt der Flansch 28 den Vakuumadapter 40 und steht senkrecht auf der Wand 24 der Vakuumkammer. Durch den Faltenbalg 28 sind die Ellipsometergrundplatte 33 und die Deckplatte 24 der Vakuumkammer voneinander mechanisch entkoppelt. Schwingungen der Deckplatte 24 der Vakuumkammer werden nicht auf die Ellipsometergrundplatte 33 übertragen. Daher wird die Messung nicht durch etwaige Schwingungen verfälscht.

Zur Vermessung der Oberfläche eines Wafers 6 wird der Wafer 6 mittels der Probenzuführung 17, die an einen Roboter angeschlossen ist, unter das Prismensystem 41 des Vakuumadapters 21 der Vorrichtung geschoben. Die Probenzuführung 17 ist derart ausgebildet, daß die Oberfläche des Wafers 6 über die gesamte Oberfläche abgescannt werden kann.

Bei der in Figur 2 dargestellten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird vor der Messung die Höhe der Vorrichtung relativ zur Waferoberfläche eingestellt. Zu diesem Zweck sind auf beiden Seiten der Meßeinrichtung 34 ein Motor 25 mit Spindeltrieb vorgesehen. In einer nicht dargestellten Ausführungsform der Vorrichtung weist die Meßeinrichtung 20

eine weitere Lichtquelle und einen weiteren Detektor auf, mit der die Position der Waferoberfläche relativ zur Meßeinrichtung 20 gemessen wird. Im in Figur 2a dargestellten Fall wird die Soll-Position dadurch festgelegt, daß der Meßstrahl 5 auf eine bestimmte Stelle der detektierenden Fläche des Detektors 32 trifft und dort ein Intensitätsmaximum vorliegt.

Um das Höhenverstellen kräftefrei zu gestalten, ist über dem Gehäuseteil 20 (der Meßeinrichtung 34) ein weiterer Faltenbalg 28 angeordnet, der mittels eines Flansches 29 mit einer Deckplatte 22 verbunden ist. Die Deckplatte 22 liegt auf Stützen 23 auf. Zusammen mit der Deckplatte des Gehäuseteils 20 bilden die Deckplatte 22 und der Faltenbalg 28 eine Unterdruckkammer 39 mit variablen Volumen.

Die Unterdruckkammer 39 ist über Vakuumanschlüsse 27 und eine Vakuumverbindung 26 mit der Vakuumkammer in der Clusteranlage verbunden. Dadurch herrscht in der Unterdruckkammer 39 das gleiche Vakuum wie in der Vakuumkammer. Der Unterdruck in der Kammer 39 mit variablen Volumen wirkt dem Unterdruck entgegen, der von der Vakuumkammer aus auf den Vakuumadapter 21 und den die Meßeinrichtung 34 enthaltenden Gehäuseteil 20 wirkt. Daher müssen die Motoren 25 weniger Kraft aufbringen, um die Höhe der Meßeinrichtung 34 und des Vakuumadapters 21 zu verstellen. Während des Verstellens wird das Volumen der Unterdruckkammer 39 verändert und findet über die Vakuumverbindung 26 automatisch ein Druckausgleich statt. Dadurch wird gewährleistet, daß sich die Vorrichtung immer im Zustand minimaler oder verschwindender Kräfte befindet.

Die Motoren 25 wie auch die Meßeinrichtung 34 befinden sich nicht im Vakuum. Es können also ganz normale Komponenten verwendet werden, die nicht vakuumtauglich sein müssen. Sie können auch keinen negativen Einfluß auf das Vakuum in der Proben- oder Meßumgebung ausführen. Falls an der

Meßeinrichtung 34 oder den Motoren 25 irgendetwas verändert oder umgestellt werden muß, kann dies geschehen, ohne daß Vakuumkammern belüftet werden müßten. Der Fertigungsprozeß kann daher ungestört weitergehen.

In Figur 2b ist eine Abwandlung der Ausführungsform aus Figur 2a dargestellt. Statt nur eines Vakuumfensters 42 weist der Vakuumadapter 21 zwei Vakuumfenster 42a und b auf. Durch das Vakuumfenster 42a tritt der einfallende Strahl von der Meßeinrichtung 34 in den Vakuumadapter 23 ein, durch das Vakuumfenster 42b tritt der Meßstrahl 5 von dem Vakuumadapter in die Meßeinrichtung 34 ein. Da die Fensterflächen kleiner sind, sind die durch den Unterdruck entstehenden Kräfte auf die Fenster kleiner und folglich entstehen geringere mechanische Spannungen im Glas, welche die Meßergebnisse verfälschen würden.

In Figur 3a ist das in die Vakuumkammer hineinragende Ende des erfindungsgemäßen Vakuumadapters 21 dargestellt. Am Ende des Strahlrohres 40 ist ein Prismensystem 41 eingebracht, das den Strahl auf einen Einfallswinkel von etwa 70° umlenkt. Nach Reflektion an der Oberfläche des Wafers 6 wird durch das Prismensystem 41 der Meßstrahl 5 senkrecht nach oben gelenkt.

Der für das Ellipsometer erforderliche Eingangspolarisator 43 kann an verschiedenen Stellen des Systems angebracht werden. In Fig. 2a befindet er sich in der Polarisatoreinheit 31. In Fig. 3a ist er dagegen auf der Strahlrohrinnenseite angebracht. Der Strahl wird also unmittelbar vor dem Durchgang durch das Prismensystem 41 polarisiert. Dadurch wird verhindert, daß beim Durchgang durch das Vakuumfenster die Polarisation des Strahles zu stark modifiziert wird. Beim Durchgang durch das Prismensystem 41 kann die Polarisation des Strahls auch etwas verändert werden, insbesondere wenn innerhalb des Prismensystems irgendwelche Spannungen auftreten.

Daher ist in Figur 3b der Polarisator auf der Strahlrohraußenseite des Prismensystems 41 angebracht und polarisiert den Strahl unmittelbar vor dem Auftreffen auf die Oberfläche des Wafers 6. Dabei können allerdings vor allem im Hochvakuum Probleme auftreten, wenn es sich bei den Polarisator 43 um eine Polarisationsfolie handelt oder der Polarisator 43 aufgeklebt wurde. Denn in diesem Falle können Ausgasungen auftreten, die das Vakuum beeinträchtigen. Es können auch Partikel entstehen, die sich auf der Waferoberfläche ablagern und damit den Wafer unbrauchbar machen. Wo der Polarisator angeordnet werden soll, muß also je nach Anwendungsfall entschieden werden.

In dem Vakuumadapter, der in Figur 3c dargestellt ist, ist vor dem Prismensystem 41 ein weiteres Prismensystem 44 angeordnet, das dazu dient, die enge Strahlführung innerhalb des Strahlrohres 40 des Vakuumadapters 21 derart aufzuweiten, daß an der Probenoberfläche eine ideale Meßgeometrie erreicht wird. Umlenkprismen 44 können auch eingesetzt werden, wenn innerhalb des Strahlrohres 40 die Strahlen um eine Ecke gelenkt werden müssen.

Für die Qualität der Meßergebnisse ist die genaue Feststellung der Probenposition in Bezug auf den Strahl erforderlich, und zwar im Bezug auf den Probenabstand und die Probenkippung. Zur automatischen Feststellung von Probenabstand und -verkippung wird eine Triangulationsanordnung wie in Fig. 4a beschrieben vorgeschlagen. Die Strahlebene der Justiereinheit 53 ist gegenüber der Strahlebene der Meßeinheit 52 parallel versetzt (Fig. 4b, seitliche Ansicht der Anordnung aus Fig. 4a), so daß beide Strahlen das Prisma in gleicher Weise durchqueren. Dadurch ist gewährleistet, daß die Lagesensorstrahlen 50, 51 den Justierzustand des Systems immer richtig wiedergeben.

Die Meßeinheit besteht im Fall einer ellipsometrischen Anordnung aus der Lichtquelle 30, Polarisatoreinheit 31 und der Analysatoreinheit 32 in Fig. 2b. Die Meßeinheit kann aber auch an einem Reflektormeter oder einem FTIR-Spektrometer bestehen.

Die Justiereinheit besteht aus dem Justierlaser 48, dem Strahlteiler 49 und den beiden positionsempfindlichen Detektoren 46 und 47. Der Strahl aus dem Justierlaser 48 wird mittels Strahlteiler 49 in zwei parallel versetzte Strahlen aufgespalten. Ein Strahl 50 durchquert den Prismenblock 45 und berührt dabei die Probe unter demselben Winkel wie der Meßstrahl und trifft dann auf einen positionsempfindlichen Detektor 46. Bei Änderung des Proben-Prismenabstands verschiebt sich der Auftreffpunkt auf der Probenoberfläche lateral und damit auch der Auftreffpunkt des Strahls auf dem positionsempfindlichen Detektor 46. Die Abweichung vom Sollwert kann somit elektronisch festgestellt werden und ggf. zur automatischen Korrektur über die Stellmotoren 25 benutzt werden.

Zur Feststellung der Verkippung wird der zweite Teilstrahl 51 verwendet. Er wird quasi senkrecht durch das Prisma 45 auf die Probenoberfläche geleitet und von dort auf den zweiten positionsempfindlichen Detektor 47 gerichtet. Bei Verkippung der Probe wandert der Strahl auf dem positionsempfindlichen Detektor 47, was wiederum elektronisch festgestellt werden kann. Eine mechanische Korrektur der festgestellten Verkippung ist sehr aufwendig. Einfacher ist es, aus der bekannten Geometrie der Anordnung die Verkippungswinkel quantitativ zu erfassen und rechnerisch bei der Auswertung der ellipsometrischen Messung zu berücksichtigen.

Figur 5a zeigt einen Ausschnitt aus einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Als Meßeinheit ist ein Infrarotspektrometer 58 eingesetzt. Daran schließt sich ein Vakuumadapter 1 an, der mit einem Vakuumfenster 42 versehen ist, das durchlässig für

Infrarotstrahlung ist. Der Meßstrahl 5 wird derart in den Vakuumadapter gelenkt, daß er unter einem sehr kleinen Einfallswinkel auf der Oberfläche der Probe 6 aufkommt. Die Probe 6 ist auf einem Probentisch abgelegt, der als Rotationstisch 54 ausgebildet ist. Der Rotationstisch 54 seinerseits ist auf einem Lineartisch 55 angeordnet. Die Bewegungsrichtung des Lineartisches 55 ist radial zur Rotationsachse des Rotationstisches 54. Der Rotationstisch 54 und der Lineartisch 55 sind so dimensioniert, daß über eine Kombination von Rotations- und Translationsbewegungen der beiden Tische 54, 55 jeder beliebige Punkt auf der Oberfläche der Probe 6 so unter dem Vakuumadapter 21 positioniert werden kann, daß er von dem Meßstrahl getroffen wird.

Der in Figur 5b gezeigte Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Vorrichtung weist ebenfalls einen Rotationstisch 54 als Probentisch für die Probe 6 auf. Allerdings ist in diesem Falle der Rotationstisch 54 nicht auf einem Lineartisch 55 angeordnet. Sowohl im Strahlrohr 40 als auch außerhalb sind Umlenkspiegel 56 zur Strahlführung vorgesehen. Die außerhalb des Strahlrohres 40 befindlichen Umlenkspiegel 56 sind auf einem Umlenkblock 59 befestigt, der seinerseits mit einem linearen Motor 57 verbunden ist. Die Bewegungsrichtung des Linearmotors 57 ist radial zur Drehachse des Rotationstisches 54. Über den Linearmotor 57 wird der Umlenkblock 59 und damit auch die Umlenkspiegel 56 radial zur Probenoberfläche bewegt. Dadurch ändert sich auch der Auftreffpunkt des Meßstrahles 5 auf der Oberfläche der Probe 6. Durch die Kombination von Rotationsbewegung der Probe und translatorischen Bewegungen des Meßstrahls wird erreicht, daß jeder Punkt auf der Oberfläche der Probe 6 vermessen werden kann.

Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur Durchführung von Messungen in einer Vakuumkammer, insbesondere zur Messung von dünnen Schichten, mit einem mindestens ein Meßfenster aufweisenden Gehäuse zur Aufnahme einer Meßeinrichtung, gekennzeichnet durch
 - ein zweiteiliges Gehäuse mit einem in die Vakuumkammer (11,12,13) ragenden ersten Gehäuseteil (21) und einem sich außerhalb der Vakuumkammer (11,12,13) befindlichen zweiten Gehäuseteil (20),
 - Mittel (28,29) zur abdichtenden und beweglichen Anordnung des Gehäuses (20,21) in der Wand der Vakuumkammer (11,12,13),
 - einer am Gehäuse (20,21) angreifenden Verstelleinrichtung (25) und
 - einer am zweiten Gehäuseteil (20) angreifenden Gegenzugeinrichtung (39).
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel (28,29) zur abdichtenden und beweglichen Anordnung des Gehäuses (20,21) einen sich auf der Außenseite der Wand der Vakuumkammer (11,12,13) abstützenden Faltenbalg (28) umfassen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenzugeinrichtung eine an das zweite Gehäuseteil (20) angrenzende Unterdruckkammer (39) ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterdruckkammer (39) druckmäßig mit der Vakuumkammer (11,12,13) verbunden ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistung der Verstelleinrichtung (25) auf das Gewicht von Gehäuse (20,21) und Meßeinrichtung (34) ausgelegt ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (34) im zweiten Gehäuseteil (20) angeordnet ist, der vom ersten Gehäuseteil (21) druckmäßig getrennt ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Gehäuseteil (21) ein Vakuumadapter (21) ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (34) aus mindestens einer Lichtquelle (30) oder Lichtzuführung und mindestens einem Detektor (32) besteht.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Gehäuseteil als Vakuumadapter (21) ausgebildet ist und ein gemeinsames Strahlrohr (40) für mindestens einen eintretenden und mindestens einen austretenden Strahl (5) aufweist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßfenster (45) ein Prismen- und/oder Linsensystem (41) umfaßt.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Vakuumadapter (21) an dem der Meßeinrichtung (34) zugewandten Ende des Strahlrohrs (40) mit mindestens einem Vakuumfenster (42) abschließt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Strahlrohrinnen- oder Strahlrohrraußenseite des Prismensystems (41) des Vakuumadapters (21) ein Polarisator (43) angebracht ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlrohr (40) des Vakuumadapters (21) Umlenkprismen (44) oder Spiegel (56) zur Strahlführung innerhalb des Vakuumadapters (21) angeordnet sind.
14. Vorrichtung nach einem der Ansssprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (34) eine Meßeinheit (53) und eine Justiereinheit (52) aus mindestens einer Lichtquelle (48) und mindestens einem positionsempfindlichen Detektor (46,47) aufweist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Justiereinheit (52) einen Justierlaser (48), einen Strahlteiler (49) und zwei positionsempfindlichen Detektoren (46,47) aufweist.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß sie als Probentisch einen Rotationstisch (54) aufweist.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotationstisch (54) auf einem Lineartisch (55) angeordnet ist, dessen Bewegungsrichtung radial zum Rotationstisch (54) verläuft.
18. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß beabstandet von dem Rotationstisch (54) Umlenkprismen (44) oder Spiegel (56) deart angeordnet sind, daß sie in radialer Richtung des Rotationstisches (54) linear bewegbar sind.

19. Vakuumadapter für Vorrichtungen zur Durchführung optischer Messungen in einer Vakuumkammer, der ein gemeinsames Strahlrohr (40) für mindestens einen eintretenden und einen austretenden Strahl (5) aufweist, das an einer Seite mit mindestens einem Vakuumfenster (42) und auf der anderen Seite mit einem Prismen- und/oder Linsensystem (41) abschließt und der Mittel (29) zur Befestigung an der Vorrichtung aufweist.
20. Vakuumadapter nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Strahlrohrinnen- oder Strahlrohraußenseite des Prismensystems (41) ein Polarisator (43) angebracht ist.
21. Vakuumadapter nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlrohr (40) zusätzliche Umlenkprismen (44) angeordnet sind.

Bezugszeichenliste:

- 1 Clusteranlage
- 2 Vorrichtung
- 5 Meßstrahl
- 6 Wafer
- 10 Prozeßkammer
- 11 Schleusenkammer
- 12 Meßkammer
- 13 Transferkammer
- 14 Roboter
- 15 Roboterarm
- 16 Roboterachse
- 17 Probenzuführung
- 20 zweiter Gehäuseteil
- 21 Vakuumadapter
- 22 Deckplatte der Vorrichtung
- 23 Stützen
- 24 Deckplatte in der Vakuumkammer
- 25 Schrittmotor mit Spindeltrieb
- 26 Vakuumverbindung
- 27 Vakuumanschluß
- 28 Faltenbalg
- 29 Flansch
- 30 Lichtquelle
- 31 Polarisatoreinheit
- 32 Analysatoreinheit
- 33 Ellipsometergrundplatte
- 34 Meßeinrichtung
- 39 Unterdruckkammer
- 40 Strahlrohr
- 41 Prismensystem
- 42 Vakuumfenster
- 43 Polarisator
- 44 Umlenkprisma

- 45 Meßfenster
- 46 positionsempfindlicher Detektor zur Bestimmung der Probenhöhe
- 47 positionsempfindlicher Detektor zur Bestimmung der Probenverkippung
- 48 Justierlaser
- 49 Strahlteiler
- 50 Justagestrahl zur Bestimmung der Probenhöhe
- 51 Justagestrahl zur Bestimmung der Probenverkippung
- 52 Justiereinheit
- 53 Meßeinheit
- 54 Rotationstisch
- 55 Lineartisch
- 56 Umlenkkspiegel
- 57 Linearmotor
- 58 IR-Spektrometer
- 59 Umlenkblock

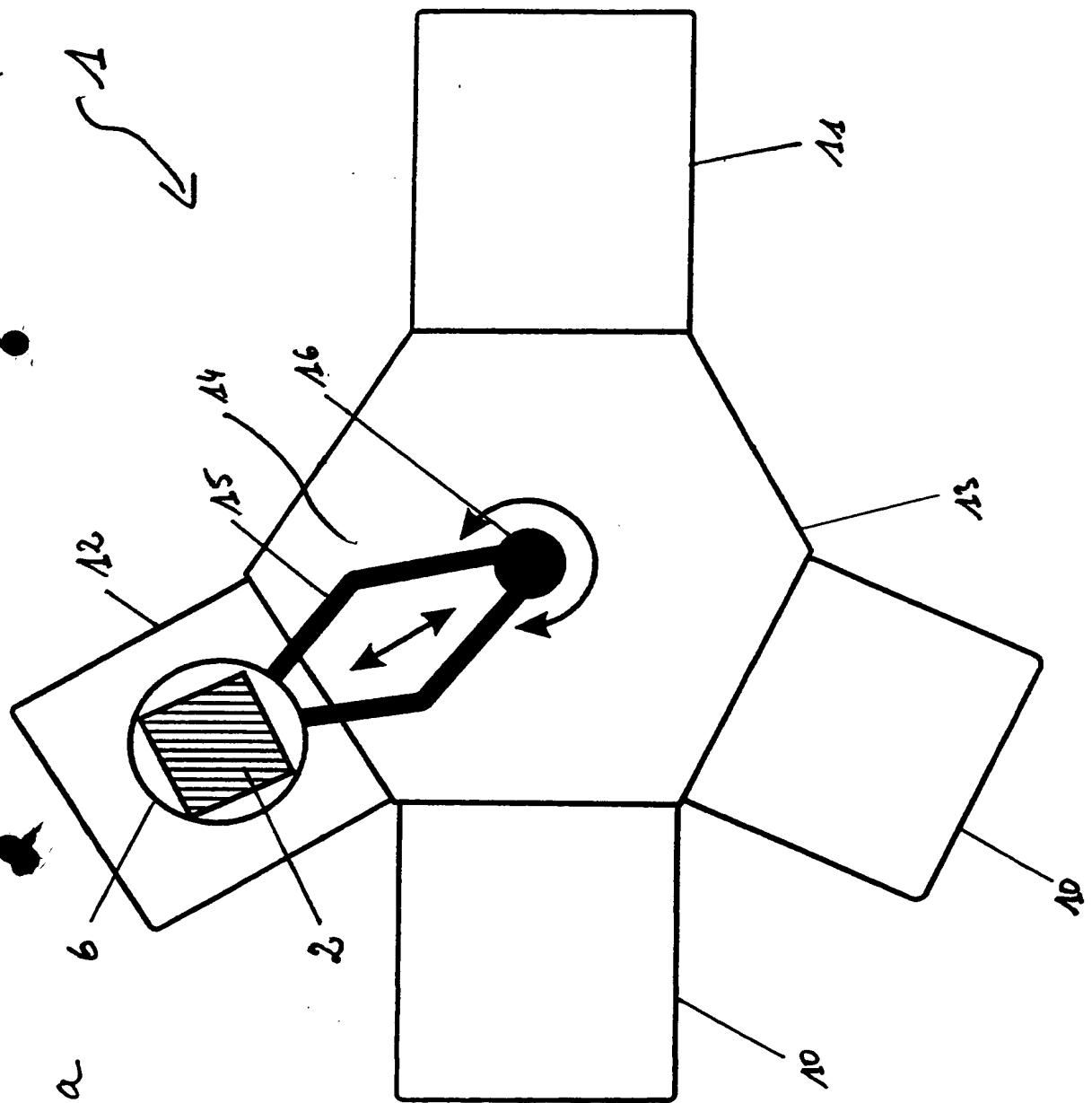


Fig. 1a

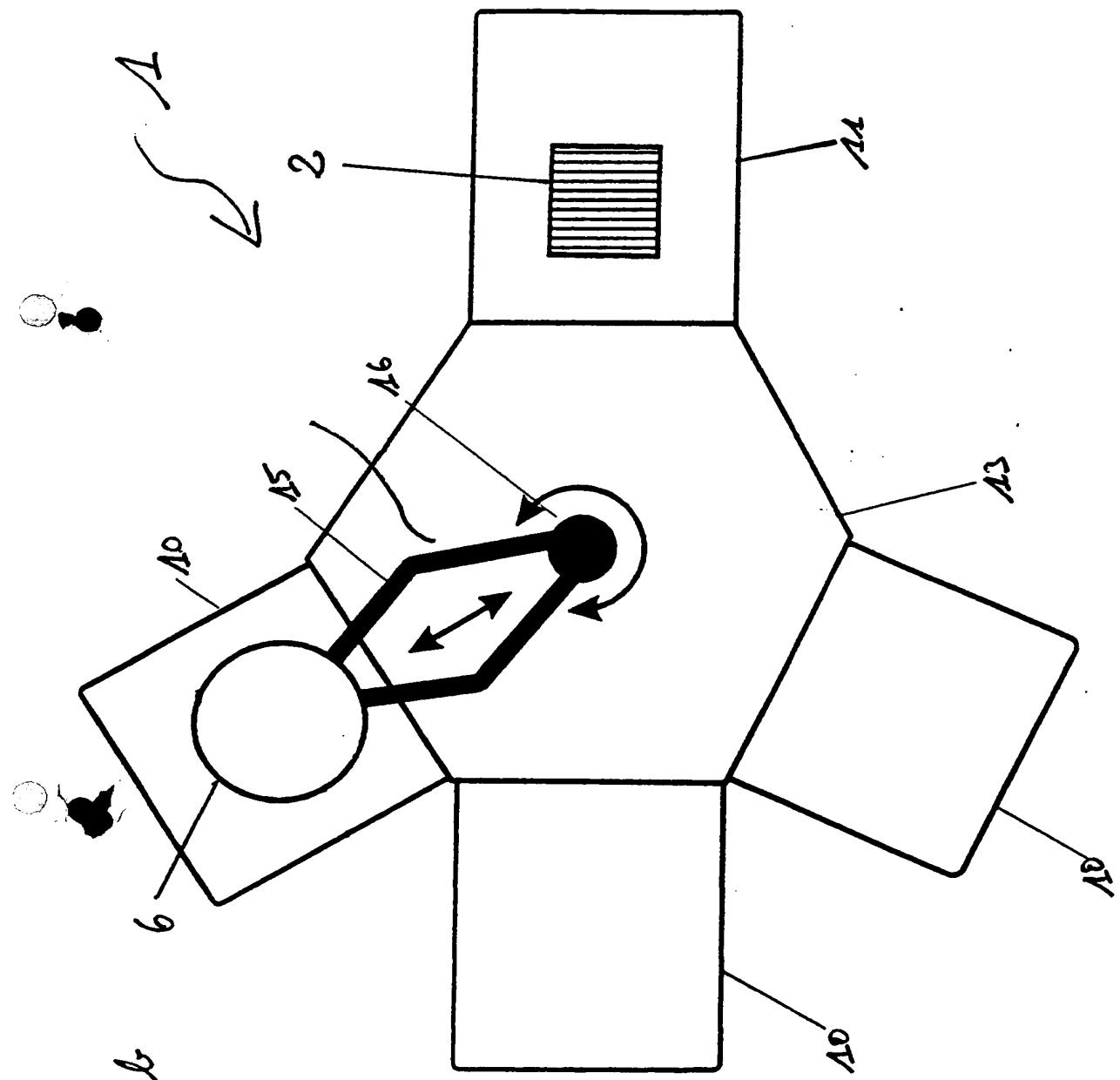


Fig. 16.

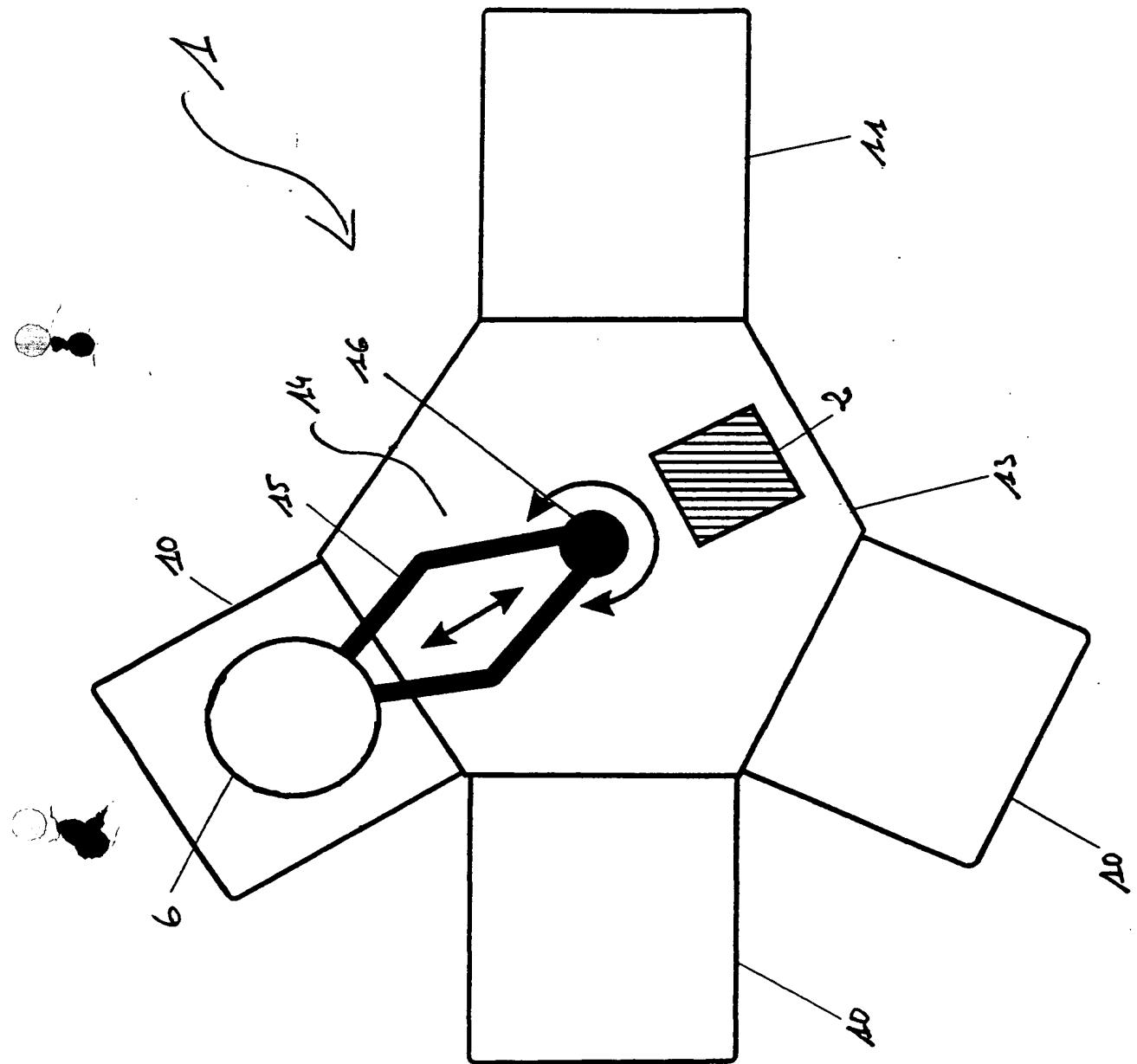


Fig. 1c

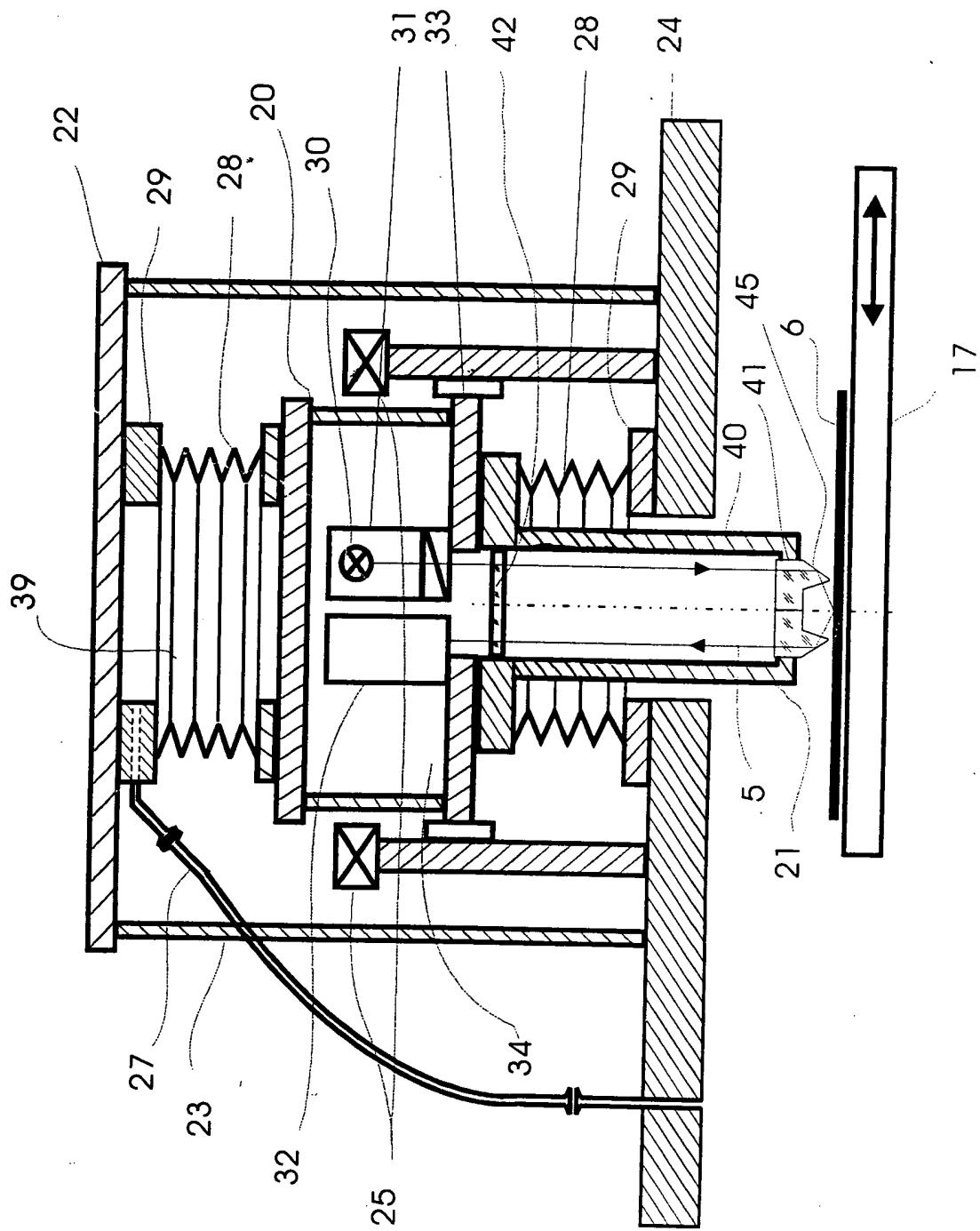


Fig. 2a

Fig. 2 b

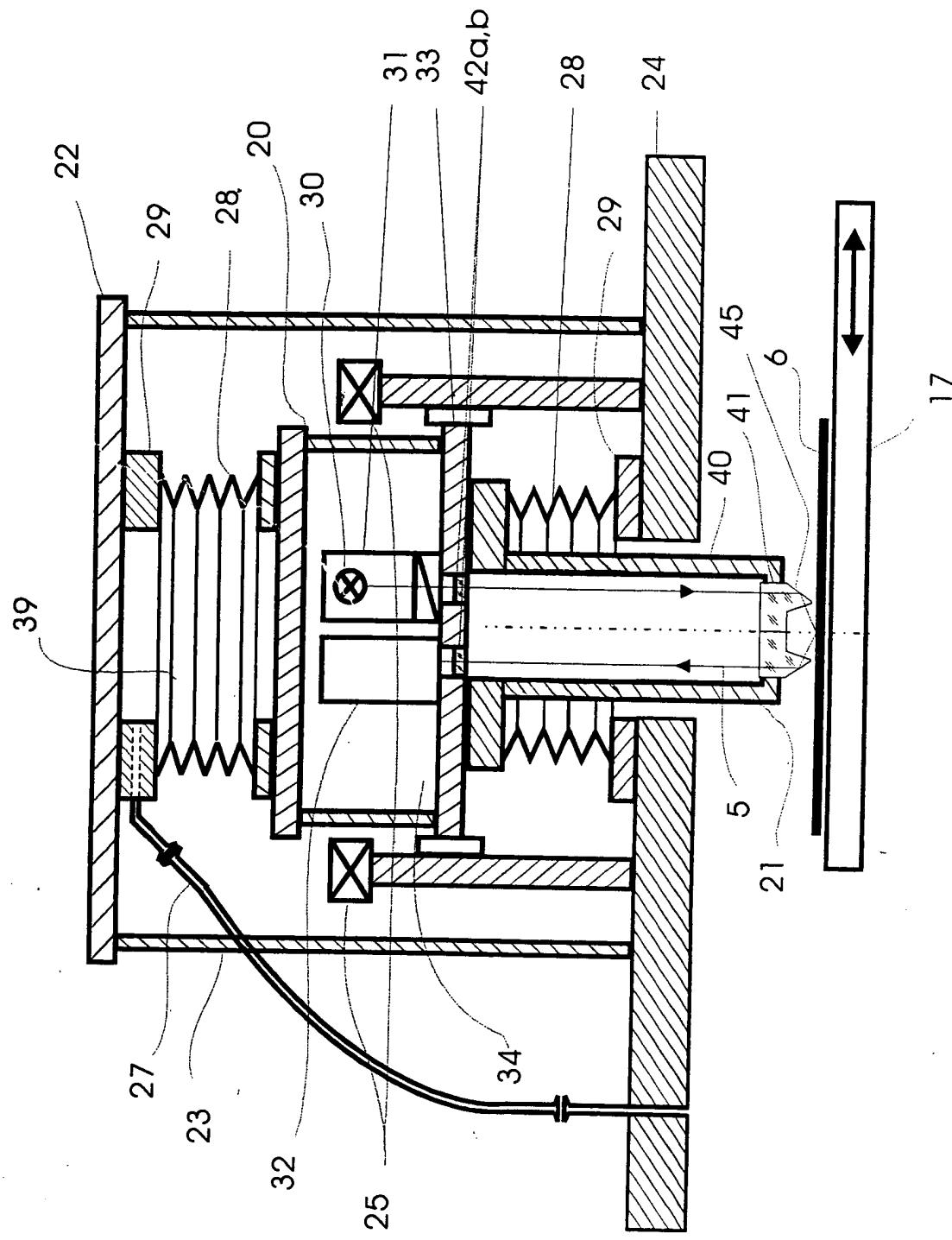


Fig. 3a

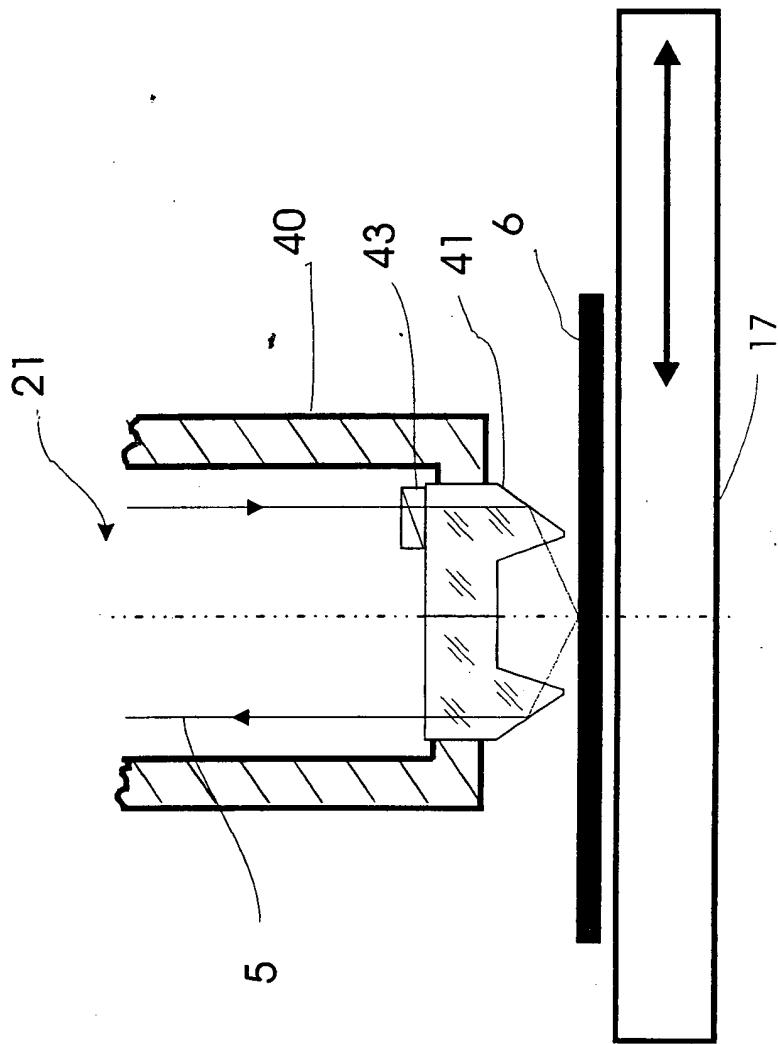


Fig. 38

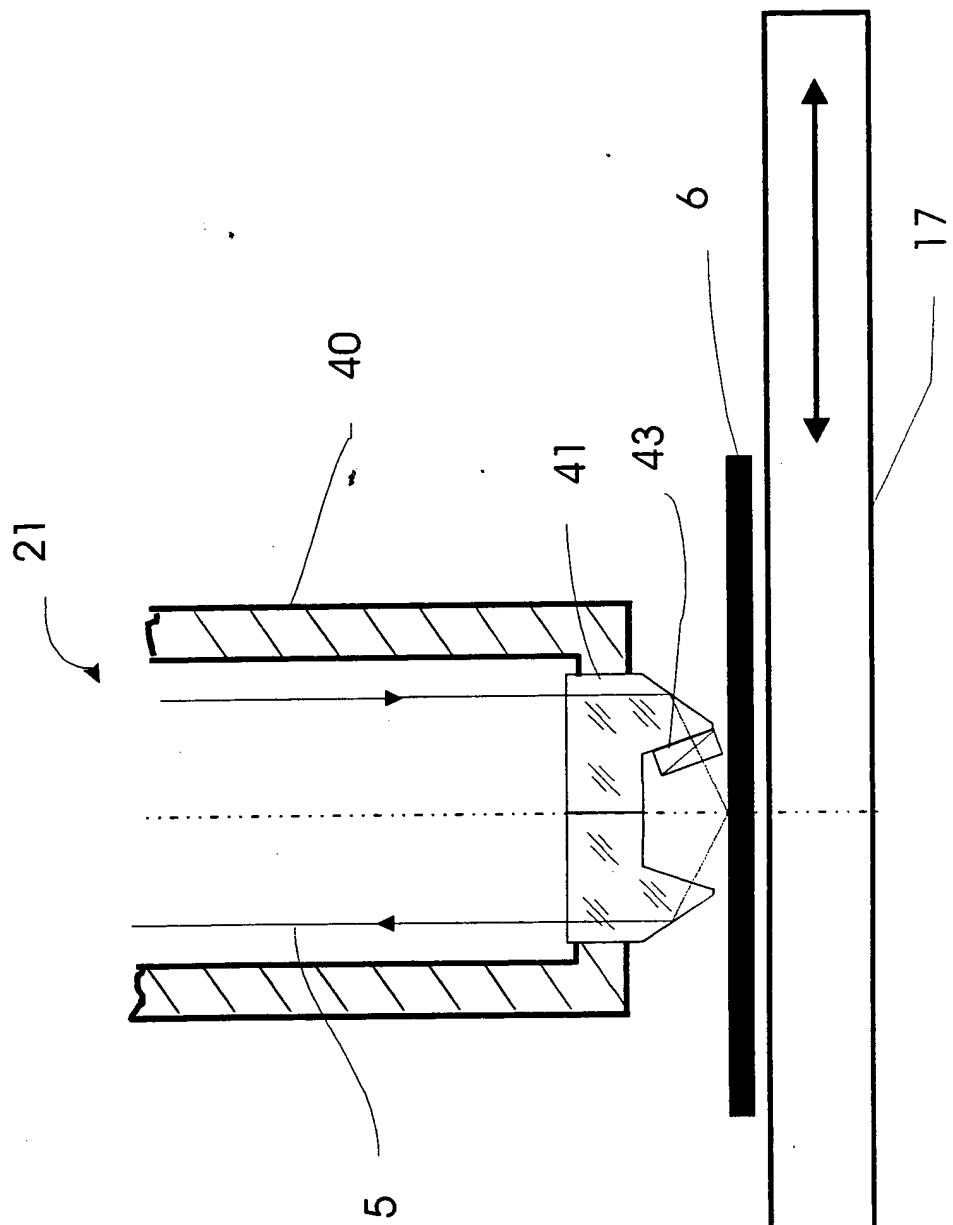


Fig. 3c

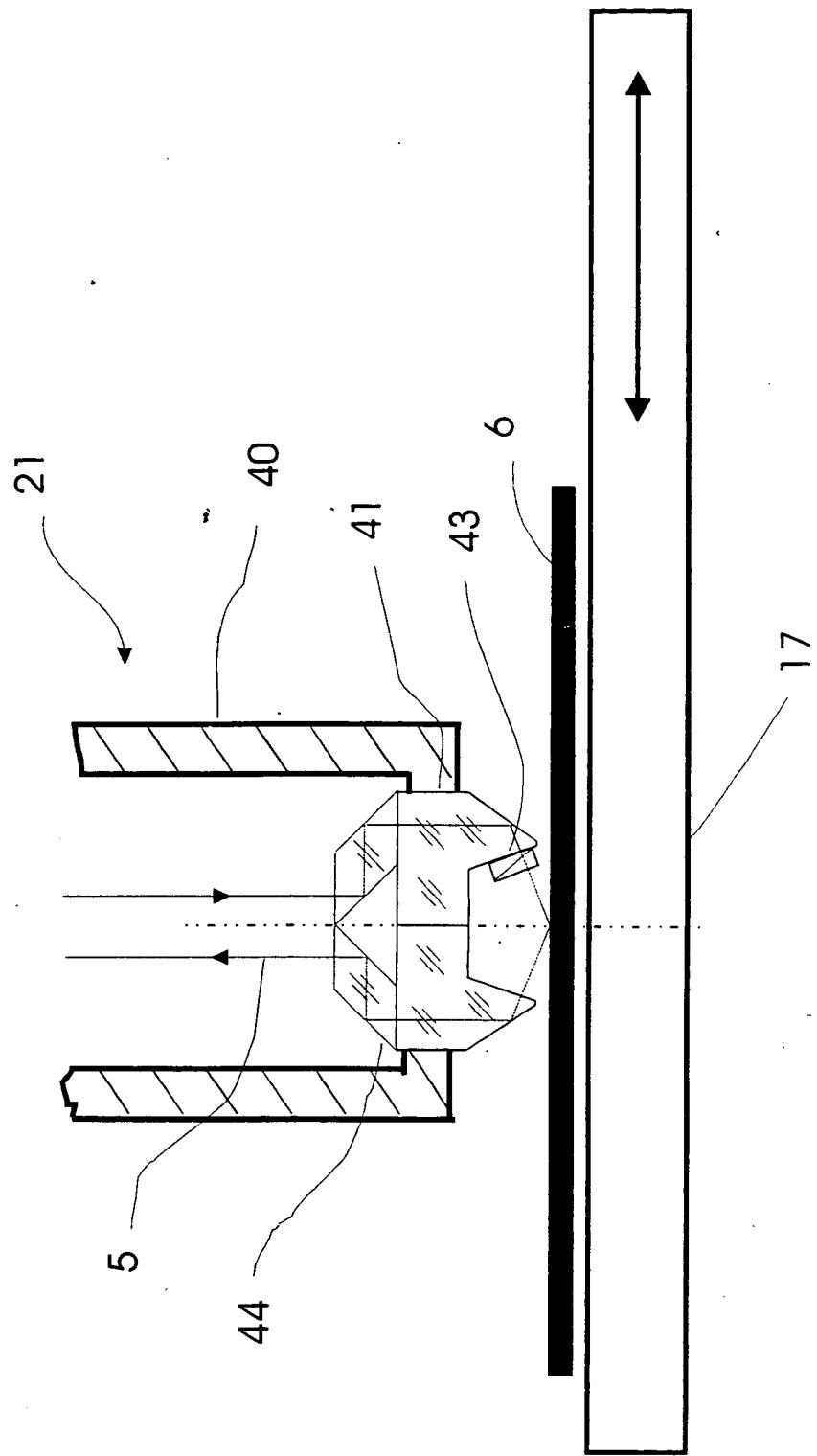


Fig. 4a

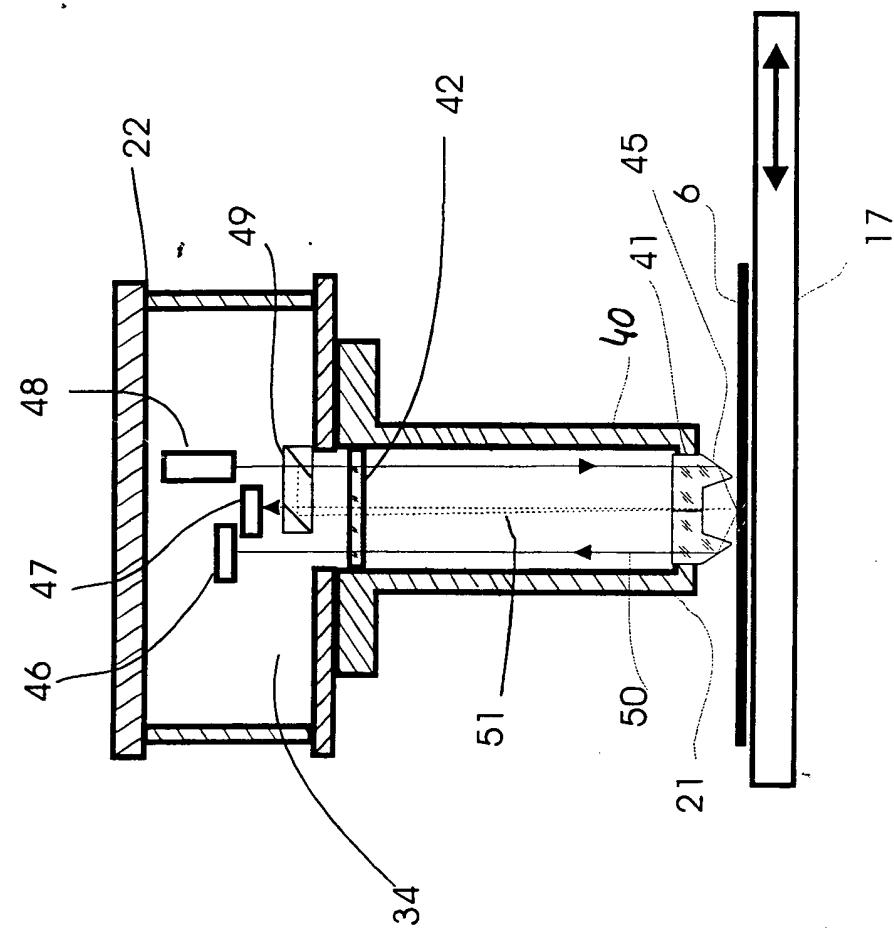


Fig. 46

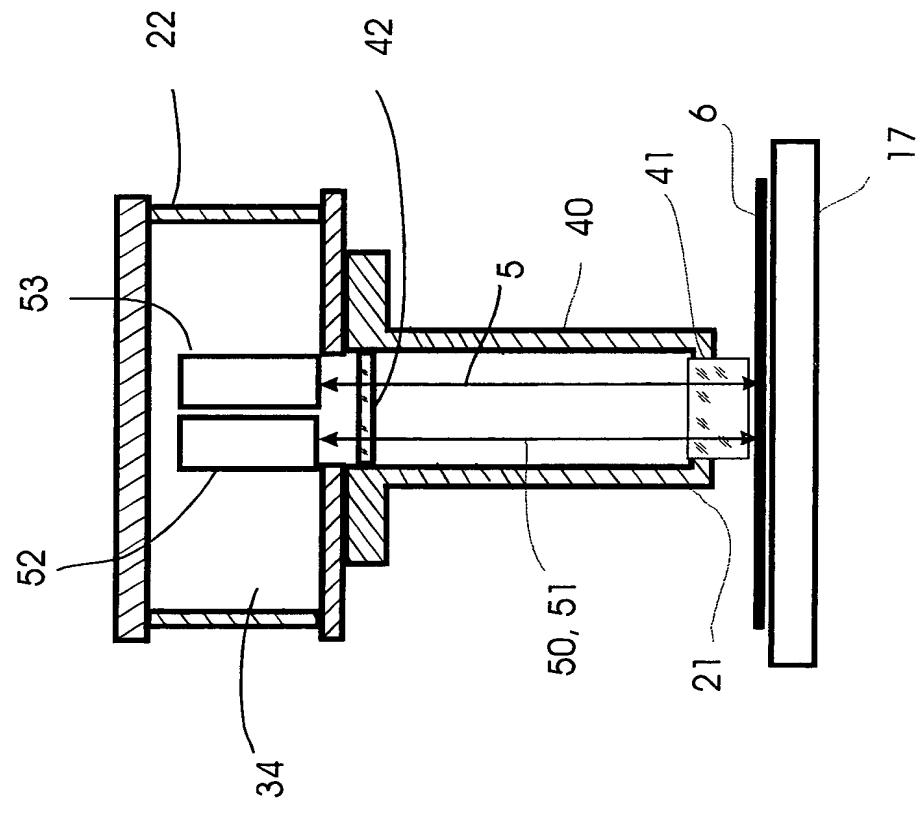


Fig. 5a

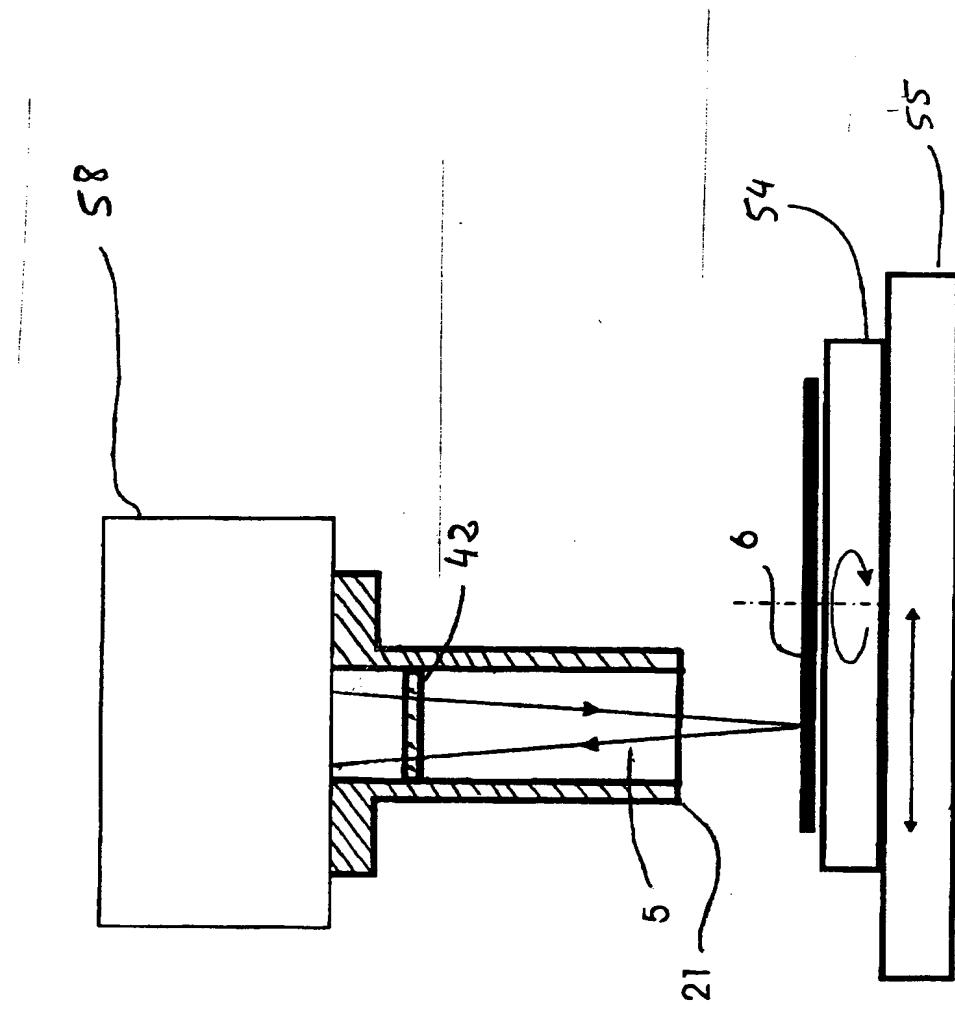


Fig. 5b

